


KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tuomas Järvinen

Modulaaristen työntöporttien suunnittelu

Opinnäytetyö  
Kesäkuu 2018

 <b>Karelia</b> AMMATTIKORKEAKOULU	<b>OPINNÄYTETYÖ</b>  <b>Kesäkuu 2018</b>  <b>Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma</b>
Tekijä  Tuomas Järvinen	
Nimeke  Modulaaristen työntöporttien suunnittelu	
Tiivistelmä  Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella modulaarinen työntöportti käytettäväksi Ratemex Oy:n tuotannossa olevien aurojen sekä puomien kanssa. Opinnäytetyössä suunniteltiin modulaariset kiinnikkeet kuuteen yleisimmin käytössä olevaan työkonekiinnikkeeseen, sekä moduulit puomien istukoille ja aurojen kiinnikkeille. Työntöportin staattista lujuutta tarkasteltiin kokoonpanon osalta.  Opinnäytetyössä perehdyttiin Eurokoodin 3 (SFS-EN 1993-1-8) mukaisiin ruuviliitoksiin ja hitseihin. Työssä tutustuttiin valmistustekniikoista johtuviin rajoituksiin osien valmistuksessa.  Opinnäytetyön tuloksena on laskelmat ruuviliitoksista ja tarvittavista hitsausliitoksista sekä tarvittavat valmistus- ja kokoonpanopiirustukset ja tiedostot polttoleikkausta varten Ratemex Oy:n käyttöön.	
Kieli  suomi	Sivuja 30 Liitteet 2  Liitesivumäärä 2
Asiasanat  työkoneet, suunnittelu, modulaarisuus	



## THESIS

June 2018

**Degree Programme in Mechanical Engineering**

Author

Tuomas Järvinen

Title

Designing of Modular Adapter Sets

Abstract

The purpose of this thesis was to design modular adapter sets to be used with snow ploughs and clearing boom systems of Ratemex Oy. In this project modular adapter sets for the six most common tractors, trucks and wheel loaders were designed. Project also included designing inserts for two different boom systems. Static stress tests for assemblies were made.

Bolted joints and welds were examined based on Eurocode 3: design of joints (SFS-EN 1993-1-8). Restrictions from available manufacturing methods were explored.

The project resulted in calculations for bolted joints and welds, drawings for manufacturing, welds and assembly as well as some manufacturing files for oxy-fuel cutting, all to be used by Ratemex Oy.

Language  
Finnish

Pages 39  
Appendices 2  
Pages of Appendices 2

Keywords

adapter set, modularity, design

# Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	5
1.1 Rajaus .....	5
2 Ratemex oy .....	5
3 Suunnittelu.....	5
3.1 Vaatimukset.....	5
4 Kuormitukset .....	8
4.1 Aura .....	8
4.2 AJO 400.....	10
4.3 AJO 700.....	10
5 Rakenne .....	10
5.1 Modulaarisuus.....	10
5.2 Luonnokset .....	10
6 Ruuvit.....	11
6.1 Aura .....	11
6.2 AJO 400.....	16
6.3 AJO 700.....	18
6.4 Koukut ja korvakot .....	20
7 Osat.....	21
7.1 Komponentit.....	21
8 FEM .....	22
9 Pohdinta.....	29
Lähteet .....	31

## liitteet

Liite 1 Polttoleikattu aihio ennen särmäystä ja nostokorvakot

Liite 2 VI-kiinnike ja nostokorvakko

# 1 Johdanto

## 1.1 Rajaus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella modulaarinen, pääasiassa ruuvein kokoonpantavissa oleva työkonekiinnike yleisimmin käytössä oleviin työkoneisiin Ratemex Oy:lle käytettäväksi yhdessä aurojen ja raivauspuomien kanssa. Opinnäytetyön on tarkoitus tuottaa tarvittavat osapiirustukset, kokoonpanopiirustukset, hitsauspiirustukset sekä polttoleikkauskuvat osien valmistusta ja tuotteen kokoonpanoa varten. Työn sovittiin käsittelevän työntöportin suunnittelua, riskiarviot ja tappien suunnittelu rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle. Tekniset dokumentit, kuten valmistuspiirustukset ovat tärkeitä Ratemex Oy:n liiketoiminnalle eikä niitä esitellä tässä opinnäytetyössä. Opinnäytetyössä esitetyt kuvat ovat yleiskuvia.

## 2 Ratemex oy

Ratemex Oy on Kiteellä toimiva konepaja, joka valmistaa vesakonraivauslaitteita ja tienhoitokalustoa. Vesakonraivauslaitteissa valikoimissa ovat erilaiset teräpäät sekä puomit. Tienhoitolaitteissa valikoimaan kuuluvat aurat, sivuaurat sekä alusterät, avoharjat sekä sirotinlaitteet. Yrityksen valmistamat tuotteet kuuluvat AJO- ja HOKKE-tuoteperheisiin. Ratemex Oy on osa Antti Ranta Oy -konsernia. Muut konserniin kuuluvat konepajat ovat konepaja Antti Ranta Oy sekä Rannan teollisuuskone Oy. (Ratemex Oy, 2017)

## 3 Suunnittelu

### 3.1 Vaatimukset

Työntöportin pitää olla yhteensopiva HOKKE-aurojen sekä AJO-puomien kanssa. HOKKE-aurat liittyvät työntöporttiin työntövarsien välityksellä. Tämä työ rajautuu työntövarsien ja koneen väliin (kuva 1). Kuvassa 1 sinisellä merkattu alue on työntöportti, jota tämä työ käsittelee. Työntöportin vasemmalla puolella ovat nostovarret ja nostosylinteri, runko sekä aura.



Kuva 1. TL-kiinnikkeinen nivelaura kuorma-autossa

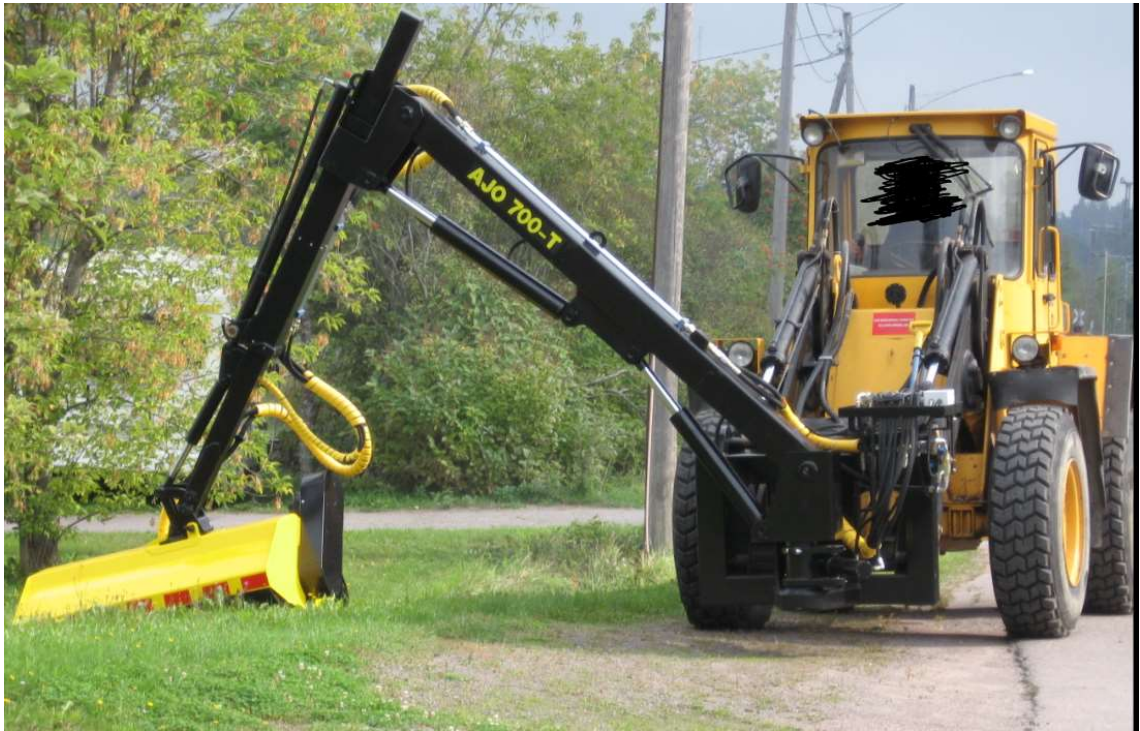
Ratemex Oy

AJO-puomistoissa on istukat, joilla ne kiinnitetään työntöporttiin. AJO-puomistoista lyhyempi AJO 400 on tuettu sekä ylä- että alapuolelta (kuva 2). Tämä opinnäytetyö rajoittuu ylä- ja alakiinnikkeen suunnitteluun. Pidemmässä AJO 700 -puomissa on alapuolinen pystyakseli (kuva 3). Pystyakseli noudattaa vanhaa suunnittelua, pystyakselin ja työntöportin välinen rakenne sisältyy tähän opinnäytetyöhön.



Kuva 2. AJO 400 -puomi työskentelyasennossa

Ratemex Oy



Kuva 3. Ajo 700

Ratemex Oy

Opinnäytetyössä tuli suunnitella kiinnityskorvakoiden kiinnitykset seuraaviin konekiinnikkeisiin: Volvo BM, Wille, VL-kiinnike, Kunta 500, Euro, TL-kiinnike sekä traktorien 3-pistekiinnikkeet. Traktoreiden 3-pistekiinnikkeet ovat standardisoituja ja niiden mitat löytyvät standardista SFS-ISO 730-1. TL-kiinnike on vanha tieliikennelaitoksen kiinnike, muut ovat valmistajien omia kiinnikkeitä. Koukut ja korvakot vastaavat aiemmin käytössä olleita. Työntöportin kiinteiksi vaatimuksiksi muodostui kiinnityskorvakoiden ja istukoiden geometriavaatimukset sekä ruuvein kiinnitettävät moduulit. Työntöportin leveyden tuli olla lähellä 1300mm leveyttä. Toivottavaa oli, että osat olisivat pääosin polttoleikattavia ja mahdollisimman monikäyttöisiä osien määrän minimoimiseksi. Toiveena oli myös painon pysyminen mahdollisimman lähellä vanhaa RHS-putkista hitsattua työntöporttia, sillä massa TL-kiinnikkeisessä kuorma-autoon kiinnitettävissä työntöporteissa muodostuu nopeasti ongelmaksi. Työ tuli tehdä Autodesk Inventor 2014 Professional -suunnitteluohjelmaa käyttäen. Myöhemmissä vaiheissa puhun pelkästä Inventorista.



## 4 Kuormitukset

### 4.1 Aura

Työntöporttiin aiheutuvat kuormitukset aurakäytössä muodostuvat rungon ja auran massasta sekä auran ollessa työskentelyasennossa iskuista. Aurojen terät on jousitettu, jouset ottavat vastaan iskuja käyttöasennossa. Aura ylhäällä liikutaan vähän, tämä on kuitenkin kuormituksellisesti haastavampi asento. Työskentelyasennossa kuormitus on lähes täysin puristusta. Kuljetustilanteessa momenttivarsi aiheuttaa kiinnikkeisiin vääntöä. Auran runko on kiinni työntöportissa neljällä nostovarrella ja nostosylinterillä. Nostosylinteri ja nostovarret on nivelletty molemmista päistä. Tässä esitetty tilanne esittää pahinta mahdollista tilannetta, jossa kaikki nostovarret ovat jumiutuneet. Aurasta, rungosta ja työntövarsista (kuva 1 s.6) aiheutuu momentti työntöportille kuvion 1 mukaisesti.



Kuvio 1. työntöportille momenttia aiheuttavat massat ja niiden etäisyydet

Aura aiheuttaa työntöporttiin momenttia seuraavasti:

$$1. \sum F \cdot r = M,$$

missä

$F$  = voima [N]

$r$  = momenttivarsi [m]

$M$  = momentti [Nm]

yhtälöstä 1 saadaan seuraava momentti:

$$0,25 \text{ m} \cdot 40 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 250 \text{ kg} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 1000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,8 \text{ m} = 9350 \text{ Nm}$$



Sauvat ovat nivellettyjä molemmista päistä. Kuormituksista tulee hyperstaattisia, mitoitus siten että aurasta aiheutuvat voimat kohdistuvat yhteen pisteeseen. Lisäksi auran painosta aiheutuu nostovarren korvakkoon ja nostosylinterin korvakkoon voimaa. Näistä nostosylinterin aiheuttama jännitys on suurin, mikä määrittää ruuveille tulevaa leikkausta myöhemmin, maksimiarvo 80 baarin maksimipaineella:

$$2. \quad F = p \cdot A$$

, missä

$F$ = sylinterinvoima [N]

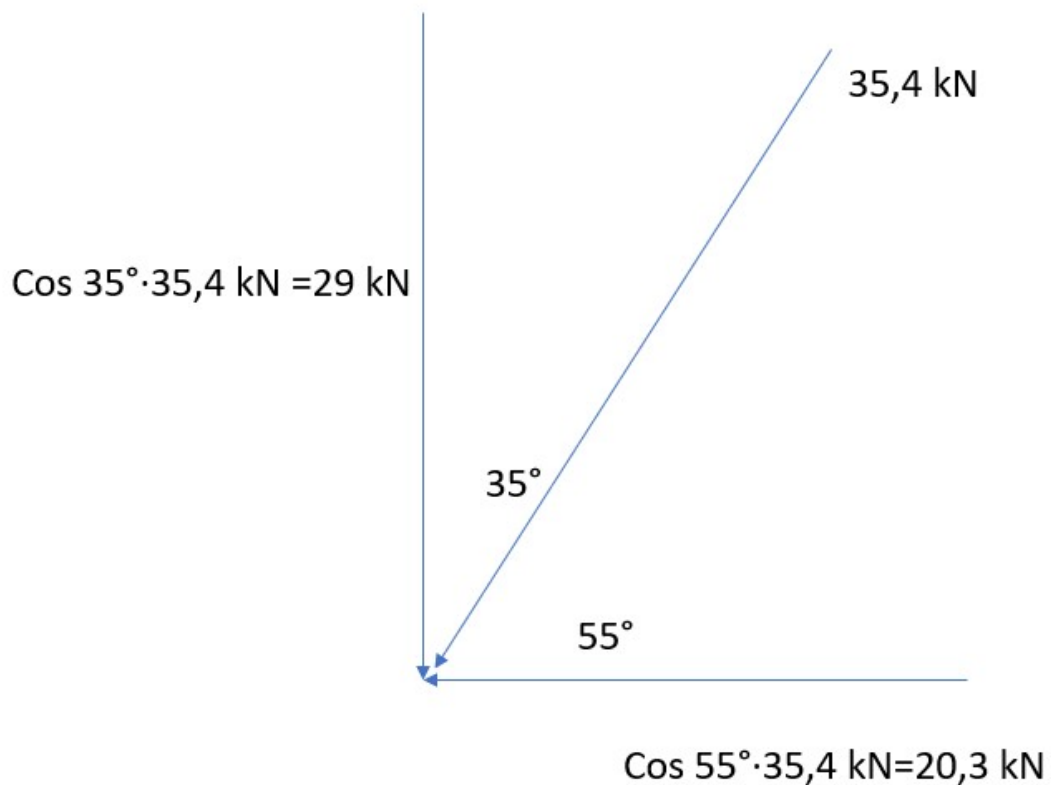
$p$ =hydrauliikan paine [ $\frac{N}{mm^2}$ ]

$A$ = Männän pinta-ala [ $mm^2$ ]

yhtälöstä 2. saadaan sylinterin maksimivoimaksi:

$$8 \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{\pi(75 \text{ mm})^2}{4} = 35350 \text{ N}$$

Koska nostosylinteri on vinossa, auran ollessa ylhäällä jakautuu voima komponentteihin kuvion 2 mukaisesti.



Kuvio 2. Nostosylinterin leikkausvoimat komponenteittain

## 4.2 AJO 400

AJO 400 on lyhyempi vesakonraivauspuomi, jonka maksimiulottuvuus suurimmalla teräpäällä on 4,65 m. AJO 400-puomi on tarkoitettu erityisesti kevyemmille peruskoneille johtuen lyhyemmästä ulottuvuudesta sekä mahdollisuudesta käyttää n. 500 kilogramman vastapainoa vastustamaan puomin aiheuttamaa momenttia. AJO 400 -puomi aiheuttaa 4,5 m ulottuvuudessa 16,1 kNm väännön istukkaan.

## 4.3 AJO 700

AJO 700 on pidempi vesakonraivauspuomi, jonka ulottuvuus suurimmalla teräpäällä on 7,6 m. AJO 700 on tarkoitettu yli 9 tonnia painaviin pyöräkuormaajiin. AJO 700 -puomissa on mahdollista käyttää samaa vastapainasarjaa kuin AJO 400 -puomissa. Tämä puomi aiheuttaa istukkaan 33,1 kNm väännön.

# 5 Rakenne

## 5.1 Modulaarisuus

Modulaarisuudella tarkoitetaan rakennetta, joka koostuu moduuleista eli yksittäisistä osista tai kokonaisuuksista, joita vaihtelemalla voidaan muokata tuotteen ominaisuuksia haluttuun suuntaan. (Pahl ja Beitz, 1990). Tässä työssä modulaarisuudella haetaan vähäisempää määrää osia varastoon sekä mahdollisuutta muokata tuotetta viime hetkellä asiakkaalta tulleen tilauksen jälkeen. Modulaarisuus toteutetaan tässä ruuvein kiinnitettävillä levyillä, joihin työkonekiinnikkeet ja korvakot hitsataan kiinni sekä peruslevyllä tai mahdollisesti kahdella, joissa on sopivat reiät mahdollistaen levyjen kiinnitykset. Puomien kiinnityskomponentit ja muut tarpeelliset komponentit suunnitellaan siten että peruslevyssä oleviin reikiin saisi mahdollisimmat suuren osan komponenteista.

## 5.2 Luonnokset

Luonnostelu alkoi työkonekiinnikkeiden asettelemisella paikoilleen ilman taustalevyjä tai muita kiinnityselementtejä. Käytettävät kiinnikkeet olivat pääosin olemassa olevia

komponentteja, joten niiden sijoittelu paikoilleen oli looginen aloitus. Työkonekiinnikkeiden sijoittelun jälkeen alkoivat kiinnitysalustojen koko sekä peruslevyn mitat selvitä. Pyrkimyksenä luonnostelussa oli se, että samoja kiinnitysalustoja voisi käyttää monessa eri paikassa. Nostokorvakon tapin sijainnin selvittyä pääsin laskemaan ruuveja aukaisevaa voimaa ja ruuvien mitoituksia.

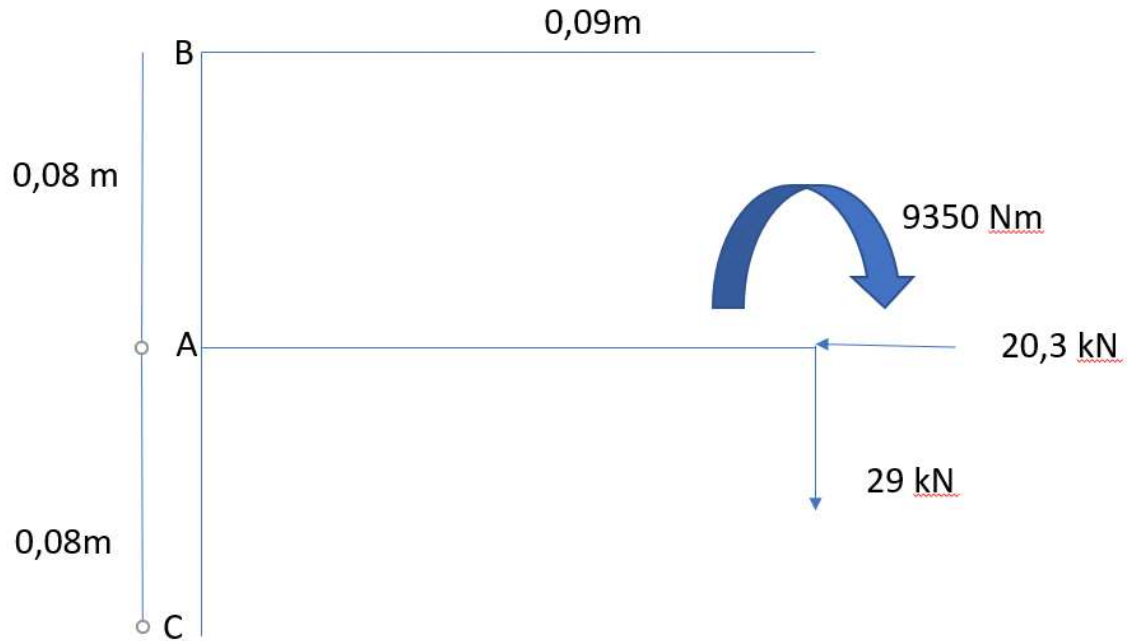
## **6 Ruuvit**

### **6.1 Aura**

Ruuveilla toteutettuja liitoksia käsitellään standardissa SFS-EN 1993-1-8 eli Eurokoodi 3 Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1-8: liitosten mitoitus. Standardissa määritellään ruuvien ja hitsien mitoitus sekä annetaan rajoitteita niiden sijoitteluun. Ruuveihin kohdistuu sekä leikkausta kuvan 5 sivu 7 mukaan että väännöstä aiheutuvaa aukaisevaa voimaa. Liitokset suunniteltiin käyttörajatilassa liukumisen kestäviksi luokan B mukaisiksi (SFS-EN 1993-1-8 s. 23).

Tämä tarkoittaa sitä, että ruuvit on esijännitetty VDI 2230 -standardin mukaisesti. VDI 2230 määrittelee myös ruuvien kiristysmomentteja ja tietyn kiristysmomentin ruuviin aiheuttavaa jännitystä. (Valtanen, 2013, s. 704-709)

Kiinnitysalustojen mittojen ollessa selvillä sai ruuvien mitoituksen aloittaa. Kiinnitysalustojen ja nostokorvakon tapin sijainnin selvittyä sain määrittää ruuvia aukaisevan voiman.



Kuvio 3. Nostokorvakon voimat.

Ruuviparit sijaitsevat B- ja C-linjassa, näihin vaikuttavia voimia varten tarvitaan voima pisteessä A. Tilanne on kuvion 3 mukainen.

Pisteen A vääntö saadaan yhtälöstä 1:

$$29000 \text{ N} \cdot 0,09 \text{ m} = 2610 \text{ Nm}$$

Leikkaus yhtälöstä 1 varmuuskertoimella 1,2:

$$\frac{1,2 \cdot 9350 \text{ Nm}}{0,09 \text{ m}} = 124667 \text{ N}$$

Pisteissä A ja C olevat ruuviparit ottavat vastaan 124667 N leikkausta eli 31167 N per ruuvi.

Pisteen A vääntö 2610 Nm vääntää ruuveja auki tai aiheuttaa ruuveille puristusta C linjassa ja vetoa B linjassa yhtälön 1 mukaisesti:

$$2610 \text{ Nm} / 0,08 \text{ m} = 32625 \text{ N}$$

$$32625 \text{ N} / 2 = 16,35 \text{ kN}$$

20,3 kN voima on puristusta, joka ei vaikuta ruuviliitoksiin.

Käyttörajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys B täyttää seuraavat ehdot (SFS-EN 1993-1-8 s. 23):

$$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd} \text{ joissa}$$

$F_{v,Ed,ser}$  = ruuvien leikkausvoiman mitoitusarvo käyttörajatilassa ruuvia kohti

$F_{s,Rd,ser}$  = liukumiskestävyyden mitoitusarvo käyttörajatilassa ruuvia kohti

$F_{v,Ed}$  = ruuvien leikkausvoiman mitoitusarvo murtorajatilassa ruuvia kohti

$F_{v,Rd}$  = ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo ruuvia kohden

$F_{b,Rd}$  = ruuvien reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo ruuvi kohti

Ruuvien tulee täyttää EN 14399-4:2002 vaatimukset.

B luokan liitokselle annetaan standardissa seuraavat yhtälöt (SFS-EN 1993-1-8 s. 28-33):

$$3. \quad F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

$$4. \quad F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{td} t}{\gamma_{M2}}$$

$$5. \quad F_{p,c} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$$

$$6. \quad F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu (F_{p,c} - 0,8 F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3,ser}}, \text{ joissa}$$

$\alpha_v$  = kerroin, ruuvien kierteellisen osan ollessa leikkaustasossa 10.9 ruuville se on 0,5 ja kierteettömän osan leikkautuessa 0,6

$\alpha_b$  = *pienin seuraavista*,

$$\alpha_b = \frac{\text{ruuvien vetomurtolujuus}}{\text{perusaineen murtolujuus}}$$

$$\alpha_b = 1,0$$

$$\alpha_b = \frac{e_1}{3d_0}, e_1 = \text{ruuvien reunaetäisyys } 1,2d_0 \text{ ja } d_0 \text{ ruuvireiän halkaisija}$$

$d$  = ruuvien halkaisija

$t$  = levyn paksuus

$$k_1 = \text{reunarivin ruuveille pienin seuraavista } k_1 = \frac{e_2}{d_0} - 1,7, e_2 = 1,2 \cdot d_0 \text{ tai}$$

2,5

$F_{p,c}$  = esijännitysvoima [N]

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$f_{ub} = \text{ruuvien murtolujuus } \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$A_s = \text{jännityspinta-ala } [mm^2]$$

$F_{s,Rd}$  = liukumisen kestävyden mitoitusarvo [N]

$F_{t,Ed,ser}$  = ruuvia auki vetävä voima [N]

$n$  = leikkautuvien pintojen lukumäärä [kpl]

$k_s$ =kerroin joka kuvastaa reiän mallia, normaaleille pyöreille rei'ille 1,0

$\mu$ =kitkakerroin, SFS-EN 1090-2+A1 standardi määrittää kitkakertoimia materiaalien välillä tässä 0,4. B luokka: hiekalla tai teräksellä puhalletut pinnat, alumiini tai sinkkipohjaisella maalilla maalattu (SFS-EN 1090-2+A1 s. 57).

$\gamma_{M3,ser}$ =osavarmuusluku 1,1

Yhtälöstä 5 ja 6 saadaan määritetty ruuvien jännityspinta-ala  $A_s$ , kun tiedetään voima, jota kitka vastustaa, tässä se oli 31167 kN ruuville.

Lasketaan 10.9 lujuusluokan ruuvilla,  $F_{ub}=1000 \frac{N}{mm^2}$

$$31167 N = \frac{1,0 \cdot 1 \cdot 0,4 (0,7 \cdot A_s \cdot 1000 \frac{N}{mm^2} - 0,8 \cdot 16350 N)}{1,1}$$

→  $A_s = 141,1 \text{ mm}^2$

→ M16 ruuvien jännityspinta-ala on  $157 \text{ mm}^2$

Tarkastetaan yhtälöstä 3 ruuvien kestävä leikkausvoima ja yhtälöstä 4 reunapuristus levyille. M16 ruuville vapaareikä ISO 273 keskisarjassa on 17,5 mm (Valtanen s. 711).

$$\frac{0,5 \cdot 1000 \frac{N}{mm^2} \cdot 157 \text{ mm}^2}{1,25} = 62800 N = \text{ruuvien kestävä leikkaus}$$

yhtälöstä 4 reunapuristuminen 12mm, 15mm ja 20mm levyepaksuuksille

$$\frac{1,66 \cdot 0,4 \cdot 355 \frac{N}{mm^2} \cdot 17,5 \text{ mm} \cdot 12 \text{ mm}}{1,25} = 39601 N \text{ 12mm levyllä}$$

$$\frac{1,66 \cdot 0,4 \cdot 355 \frac{N}{mm^2} \cdot 17,5 \text{ mm} \cdot 15 \text{ mm}}{1,25} = 49500 N \text{ 15 mm levyllä}$$

$$\frac{1,66 \cdot 0,4 \cdot 355 \frac{N}{mm^2} \cdot 17,5 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm}}{1,25} = 66000 N \text{ 20 mm levyllä}$$

Ruuveiksi valitaan M16 10.9. Luokka 10.9 tarkoittaa  $1000 \frac{N}{mm^2}$  vetomurtolujuutta ja  $900 \frac{N}{mm^2}$  myötörajaa. Kiinnityksen kohdasta riippuen on mahdollista, että ruuvit ovat DIN 931/ISO 4014 osakierre, DIN 933/ISO 4017 täyskierteistä tyyppiä, myös uppokoloruuveja DIN 7991/ISO 10642 tarvitaan. Mutterit aina tyyppiä DIN 982-10 lukitusmutteri. Varmistetaan vielä ruuvien ja aluslevyn aiheuttaman pintapaineen kesto. S355 teräkselle maksimi suositusarvo pintapaineelle on  $600 \frac{N}{mm^2}$ .

VDI 2230 (Valtanen, 2013, s. 704) määrittää M16 10.9 ruuville esikieristysvoiman 111 kN kuivan teräksisen kierteen ja ruuvien välisellä kitkalla, sinkityllä kannalla 280 newtonmetrin vääntömomentilla.

Tarkistetaan pintapaine aluslevyllä M16 DIN 125/ISO 7089 aluslevyn pinta-ala on

$$\frac{(30\text{mm}^2 - 17\text{mm}^2)\pi}{4} = 479,9\text{ mm}^2$$

$$\text{pintapaine } 111000\text{ N}/479,9\text{ mm}^2 = 231,3\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

M16 ruuvien vetomurtolujuus on seuraava (SFS-EN 1993-1-8 s. 28):

$$7. F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

, missä

$F_{t,Rd}$  = vetokestävyys

$k_2 = 0,63$  uppokantaruuveille, 0,9 muille

$f_{ub}$  = vetomurtolujuus, 10.9 ruuvien tapauksessa  $1000\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$A_s$  = ruuvien jännityspinta-ala M16 ruuvilla  $157\text{ mm}^2$

$\gamma_{M2}$  = osavarmuusluku

yhtälöstä 7 vetomurtolujuus normaalille ruuville

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 1000\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 157\text{mm}^2}{1,25}$$

$$F_{t,Rd} = 113030\text{ N}$$

yhtälöstä 7 uppokantaruuveille

$$F_{t,Rd} = \frac{0,63 \cdot 1000\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 157\text{mm}^2}{1,25}$$

$$F_{t,Rd} = 79128\text{ N}$$

Uppokantaruuvien tilannetta ja niihin kohdistuvaa vetovoimaa kuvaa kuva 6.

Uppokantaruuveille tehtävä upotus vaikuttaa levyn reunapuristuskestävyyteen tehtävän upotuksen puolikkaan verran. DIN 74 mukainen upotus DIN EN ISO 10642 tyyppin M16 ruuville on 8,2 mm eli 4,1 mm vähennetään levyn paksuudesta (Valtanen, 2013, s. 610.

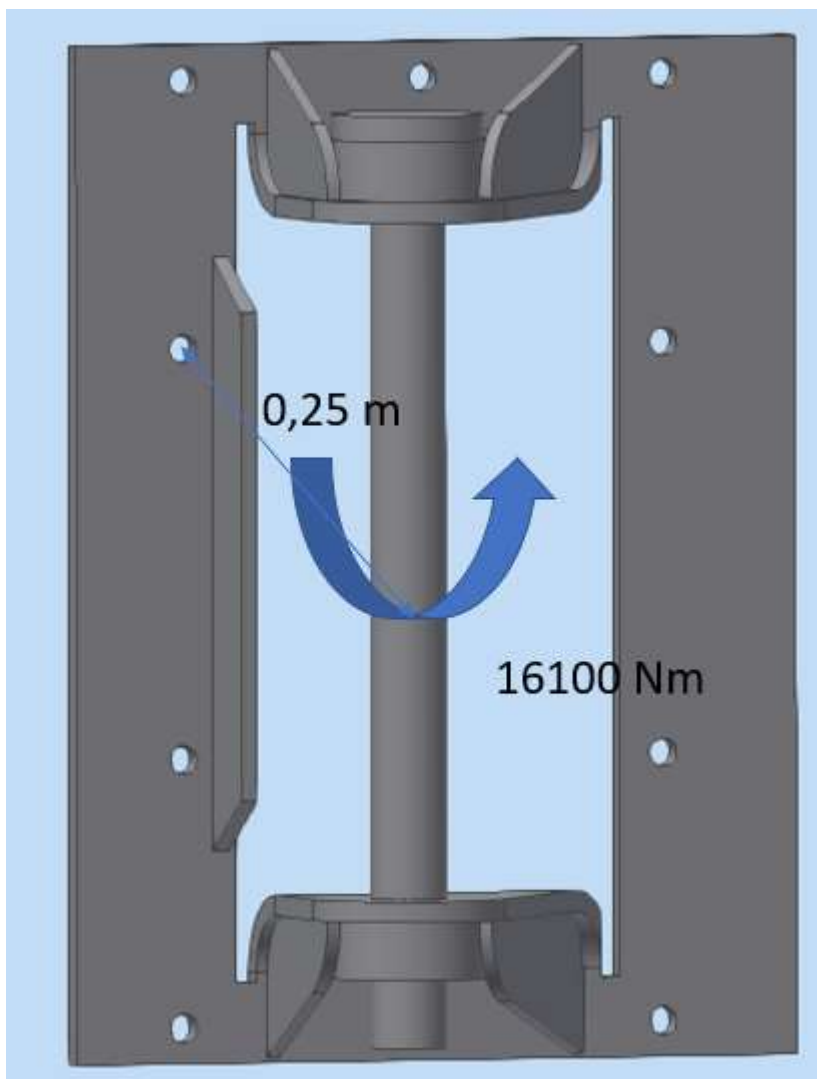
15 mm levy kestää reunapuristusta siis yhtälön 4 mukaan:

$$\frac{1,66 \cdot 0,4 \cdot 355\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 17,5\text{ mm} \cdot 10,9\text{ mm}}{1,25} = 44960\text{ N}$$



## 6.2 AJO 400

AJO 400 kiinnikkeen pahin tilanne muodostuu tilanteessa, jossa puomilla työskennellään täysin sivulla. Työskennellessä sivulla kaikki puomista aiheutuva vääntö tulee leikkauksena. Leikkausta aiheuttava vääntömomentti on 16100 Nm (kuva 4).



Kuva 4. AJO 400 istukan vääntökeskiö ja ruuvit

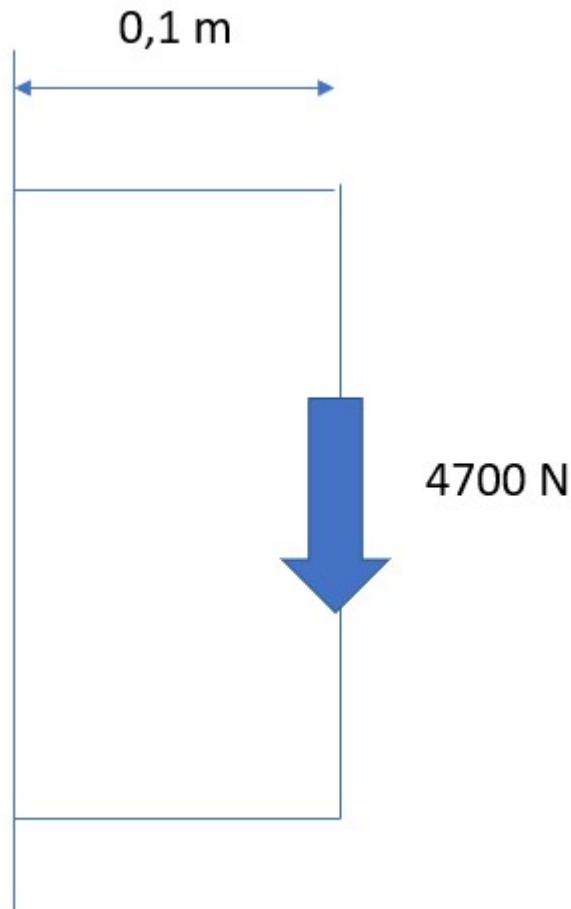
Lyhin etäisyys vääntökeskiöstä suunniteltuihin ruuveihin saadaan Pythagoraan lauseesta.

$$\sqrt{(0,15 \text{ m})^2 + (0,2 \text{ m})^2} = 0,25 \text{ m}$$

0,25 m etäisyydellä ruuviin kohdistuu  $\frac{16100 \text{ Nm}}{0,25 \text{ m}} = 64400 \text{ N}$  leikkausta. Samalla etäisyydellä vääntökeskiöstä on toinenkin ruuvi. Yhdelle ruuville tuleva leikkaus on 32200 N. Reunapuristusta 12 mm S355 levy kestää aiemmin lasketun 39 kN ja ruuvi kesti leikkausta 62800 N. Tämä liitos on reunapuristuksen (yhtälö 4) ja ruvin leikkautumisen

(yhtälö 3) kestävä A-tyypin liitos (SFS EN 1993-1-8 s. 23). Muiden ruuvien leikkausvoima on pienempi.

Puomi aiheuttaa ruuveihin avaavaa voimaa kuvion 4 mukaisesti.



Kuvio 4. AJO 400 puomin massasta aiheutuvat voimat

4700 N voima aiheuttaa momentti kappaleen keskelle  $4700 \text{ N} \cdot 0,1 \text{ m} = 470 \text{ Nm}$ .

470 Nm momentti aiheuttaa keskilinjaa lähimpänä oleville ruuveille avaavaa voimaa

$$\frac{470 \text{ Nm}}{0,121 \text{ m}} = 3885 \text{ N}$$

Yhdistetty leikkausta ja avaavaa voimaa sisältävä liitos on määritetty eurokoodi 3 mukaan seuraavasti (SFS EN 1993-1-8 s. 28):

$$8. \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

, missä

$F_{v,Ed}$  = ruuvien leikkausvoiman mitoitusarvo murtorajatilassa ruuvia kohti

$F_{v,Rd}$ =ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo ruuvia kohti

$F_{t,Ed}$ =vetovoiman mitoitusarvo ruuvia kohden

$F_{t,Rd}$ =ruuvien vetokestävyyden mitoitusarvo ruuvia kohti

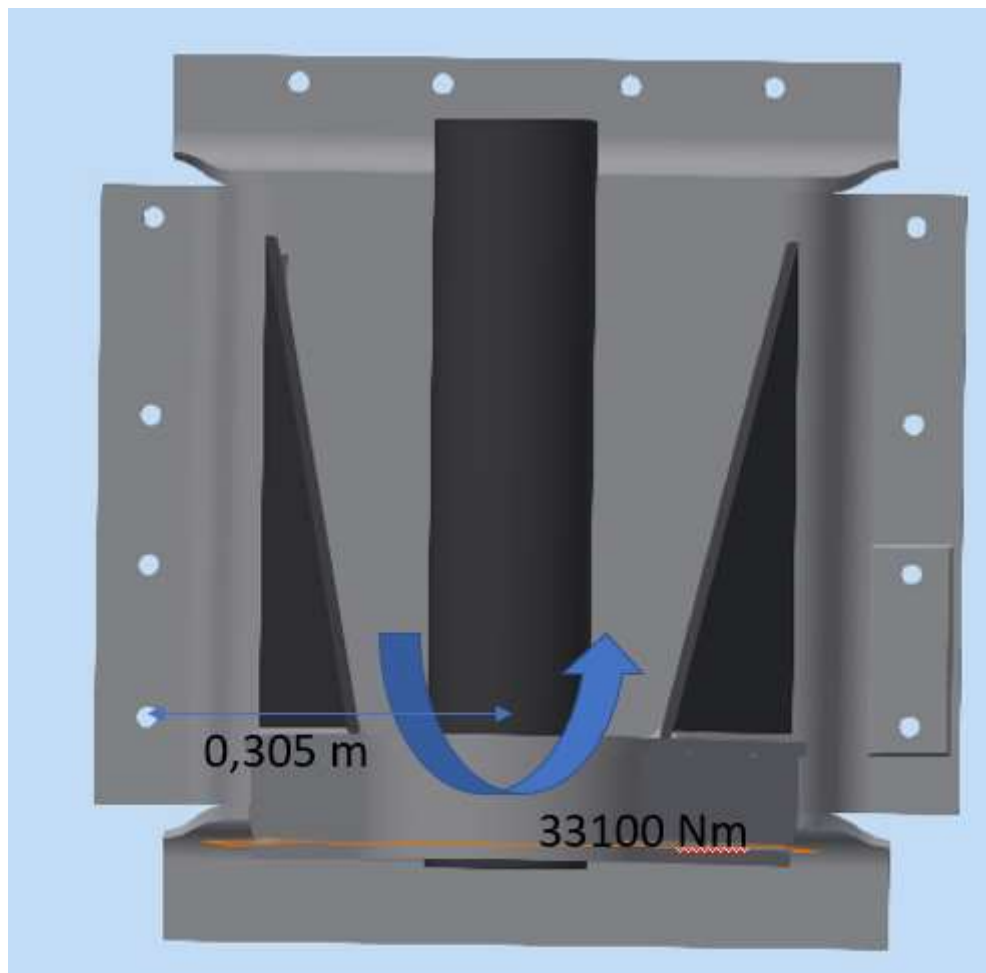
Yhtälöstä 8 pahin yhdistetyn kuormituksen tilanne.

$$\frac{32200 \text{ N}}{62800 \text{ N}} + \frac{3885 \text{ N}}{900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 157 \text{ mm}^2 \cdot 1,4} = 0,53$$

Tämä 0,53 alittaa suurimman yhdistetylle kuormalle sallitun arvon 1,0.

### 6.3 AJO 700

Ajo 700 vääntökeskiö ei ole symmetrinen kiinnityksen tyypistä johtuen (kuva 5).

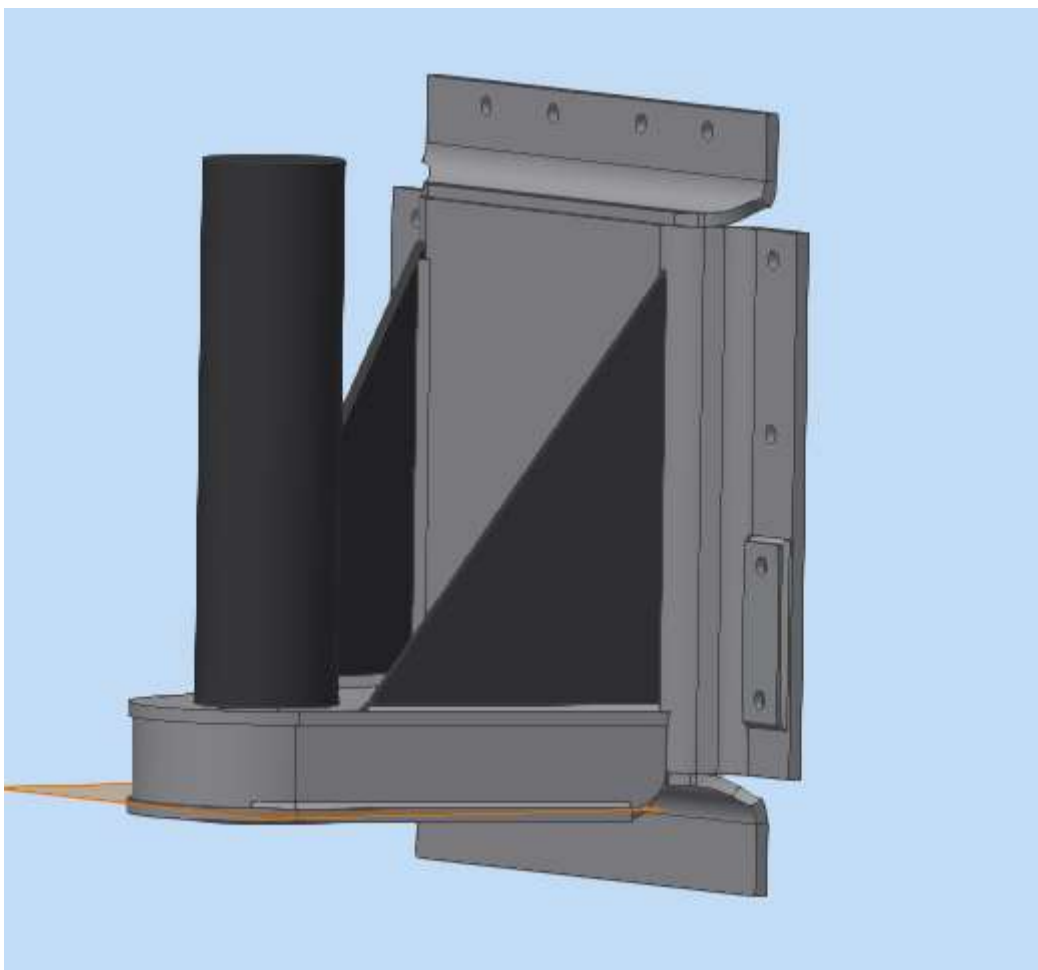


Kuva 5. AJO 700 vääntökeskiö ja lähimmät ruuvit

AJO 700 on tuettu vain alhaalta. Ruuvit ottavat vastaan puomin aiheuttamaa 33100 Nm vääntöä. Lyhin ruuvien etäisyys vääntökeskiöstä on 0,305 m. Tämä ruuvilinja sijaitsee vääntökeskiön tasossa.

0,305 metrin päässä vääntökeskiöstä vaikuttaa voima on  $\frac{33100 \text{ Nm}}{0,305 \text{ m}} = 108525 \text{ N}$

samalla momenttivarrella ruuveja on kaksi, joten ruuvia kohden tulee 54262 N leikkausta. Yksittäinen ruuvi kesti leikkausta aiemmin lasketun 62800 N. 54262 N on suurempi kuin aiemmin laskettu 12 mm S 355 levyn reunapuristuksen kesto. Vasta 20 mm levy kestää reunapuristusta riittävästi. Reunapuristuksen kesto ratkaistiin hitsaamalla reikien ympäristöön S355 8x60 mm lattarauta (kuva 6). Lattaraudan lisäyksellä saavutetaan levynpaksuudeksi 20 mm jolla saadaan aiemmin laskettu 66000N reunapuristuksen kesto. Muut ruuvit ottavat vastaan vähemmän leikkausta, koska ovat kauempana vääntökeskiöstä.



Kuva 6. Vahvikehitsattu AJO 700 istukka

AJO 700 puomin paino aiheuttaa avaavaa voimaa pahimmillaan ruuveihin yhtälön 1 mukaisesti

$$\frac{9800 \text{ N} \cdot 0,35 \text{ m}}{0,136 \text{ m}} = 25220 \text{ N}$$

Tarkastetaan yhdistetty veto ja leikkaus yhtälöllä 8.

$$\frac{54262 \text{ N}}{62800 \text{ N}} + \frac{25220 \text{ N}}{900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} 157 \text{ mm}^2 \cdot 1,4} = 0,992$$

0,992 on hyväksyttävä, vaikka onkin lähellä yhdistetyn vedon ja leikkauksen maksimia 1,0.

#### 6.4 Koukut ja korvakot

Koukut ja korvakot on mitoitettu hitsaustenkeston mukaan. Hitsit ovat aikaisemmissa rakenteissa olevien mukaisia. SFS-EN 1993-1-8 määrittää hitseille yksinkertaistetun laskutavan, jolla voidaan olettaa kaiken pienahitsiin tulevan voiman olevan leikkausta. Yksinkertaistetulla yhtälöllä hitsistä tulee ylimitoitettu, mikäli se sisältää paljon otsapienahitsejä. Muita hitsiä rajoittavia ehtoja on vähimmäismitat  $a=3$ , tarkoittaa hitsin kokoa ja  $l=30$ , tarkoittaa hitsin pituutta. (SFS EN 1993-1-8 s. 44)

4 ruuvia kestää aikaisemmin lasketun mukaan leikkausta  $62800 \text{ N} \cdot 4 = 251200 \text{ N}$  yksinkertaistettu pienihitsin laskuyhtälö on määritetty seuraavasti (SFS EN 1993-1-8 s. 47):

$$9. F_{w,ED} \leq f_{vw,d} \cdot l \cdot a$$

$$10. f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

, joissa

$F_{w,Ed}$ =mitoitusvoima pienahitsin pituusyksikköä kohti

$f_{vw,d}$ =hitsauksen sallittu jännitys yksinkertaistettuna

$l$ =pienahitsin pituus

$a$ =pienahitsin koko

$f_u$ =S355 rakenneteräkselle  $510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$\beta_w$ =kerroin, S355 teräkselle 0,9

$\gamma_{M2}$  = osavarmuusluku 1,25

VL-kiinnikkeen alakoukku sisältää kylkipienahitsiä 160 mm, joka kokemuksen perusteella on riittävästi. Tämä on lyhin mitta kiinnikkeiden ja kiinnityslevyjen välillä. 160 mm kylkipienaa  $a$ -mitalla 5 mm kestää voimaa seuraavasti yhtälöiden 8 ja 9 mukaan

$$\frac{510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} \cdot 160 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} = 209265 \text{ N}$$

hitsisauman tiedetään vanhastaan kestävän, joten 251200 N leikkausvoiman kesto ruuveille riittää.

Osa koukkujen ja korvakoiden moduuleiden kiinnityksistä vaatii kierteistystä ja ruuveja. Näissä tapauksissa ruuvien reikä on suunniteltu 0,9d mittaiseksi, eli käytännössä levynpaksuus 15mm on ruuvien upotus. Ruuvit varmistetaan keskivahvalla ruuvilukitteella, joka lukitsee ruuvien siten, että ruuvi on avattavissa ilman ruuvien lämmitystä.

## 7 Osat

### 7.1 Komponentit

Moduuleiden kiinnityslevyn kokoa rajoittaa eurokoodi kolmen sisältämät rajoitukset ruuvireikien etäisyyksissä. SFS EN 1993-1-8 rajoittaa aluslevyn kokoa reunaetäisyyden 1,2d ehdon mukaan (SFS EN 1993-1-8 s. 24). Reiät levyissä ISO 273 (Valtanen, 2013 s.711) mukaiset. M16 ruuvi keskisarjaan tarkoittaa 17,5mm reikää. 17,5 mm mitalla reunaetäisyydeksi muodostuu 21mm. Toinen rajoittava tekijä on maksimi reikäväli 14t tai 200mm mitta, joista pienempi on merkitsevä (SFS EN 1993-1-8 s. 24). Levynpaksuudella  $t=15\text{mm}$  reikäväli saa olla 200mm ja 12 mm levyillä 168 mm. Kaikki reikävälit on suunniteltu siten, että 12mm levyjen käyttö on mahdollista. Reikävälit pääasiassa vertikaalisesti 158 mm ja horisontaalisesti 150 mm.

Kaikkien osien reiät on suunniteltu koneistettaviksi termisessä leikkauksessa tapahtuvien mittapoikkeamien vuoksi. Lähinnä reikien supistuminen ja suurien kappaleiden suuret heitot aiheuttavat ongelmia. Levyn ainepaksuudesta ja nimellismitoista johtuvien poltto- ja plasmaleikkauksessa sallittu heitto osien valmistuksessa toleranssiluokan 2 mukainen. Ainepaksuudesta ja kappaleen nimellisimitoista johtuen mittatoleranssit kappaleilla ovat  $\pm 1,8$  ja  $\pm 3,0$  välillä (SFS-EN ISO 9013:2017 s. 22,26)

Kappaleiden muodot on pyritty valitsemaan siten että leikkeessä on mahdollisimman paksumuodot ilman teräviä ulkomuotoja.

Särmättävät osat pyrin suunnittelemaan hyvillä kevennyksillä särmäyksen ympäriltä, riittävillä särmäysten säteillä sekä särmäysten tulolla kappaleen ulkopuolelle. S355 teräs epäedullisimmassa särmäys suunnassa tarvitsee 12 mm paksuudessa 32mm sisäsäteen (Piiroinen, T. 2013, s 33).

Korvakoiden paksuus määräytyi vanhan suunnittelun leikkauksen keston korvakoiden mukaan. Standardissa SFS-EN 1993-1-8 on lisäksi reunaetäisyyden määrittäminen korvakoille voiman suunnissa. Voima kohdistuu korvakkoon muuttuvasta suunnasta, joten

reunaetäisyys määräytyy täysin pidemmän reunaetäisyyden mukaan. Koska korvakoita on kaksi, yhden korvakon vastaanottama leikkausvoima tulee kuvan 5. mukaisesta 35,4 kN voiman puolikkaasta. Yhtälö on määritetty seuraavasti tunnetulle levyn paksuudelle (SFS-EN 1993-1-8 s.39):

$$11. a \geq \frac{F_{Ed}\gamma_{M0}}{2tf_y} + \frac{2d_0}{3}$$

, missä

$F_{Ed}$ =voima

$a$ =tarvittava reunaetäisyys reiän reunasta

$\gamma_{M0}$ =osavarmuusluku 1,0 (SFS-EN 1993-1-1 s.48)

$t$ =levyn paksuus

$f_y$ =korvakon materiaalin myötöraja S355=355  $\frac{N}{mm^2}$

$d_0$ =reiän halkaisija

Yhtälöstä 11. saadaan seuraava etäisyys reiän reunasta kappaleen reunaan.

$$a \geq \frac{17700N \cdot 1,0}{2 \cdot 20 mm \cdot 355 \frac{N}{mm^2}} + \frac{2 \cdot 32mm}{3}$$

$$a=22,6 mm$$

Korvakon reunaetäisyys reiän reunasta kappaleen ulkopintaan on 23,9 mm, joten etäisyys on riittävä. Kaikkien osien perusrakenne noudattaa samaa kaavaa eli on kiinnityslevyllinen korvakko tai kynsi jotka on hitsattu toisiinsa. Tämä moduuli on kiinnitettävissä peruslevyyn ruuvein. Peruslevyjä tuli kaksi erilaista. Tieliikennelaitoksen -kiinnikkeille tuli oma peruslevy, koska tienhoitokuorma-autojen kantavuus tulee nopeasti vastaan. Tätä peruslevyä on kevennetty toisesta peruslevystä noin 25%. Levy paksuus oli kuitenkin jätettävä 15 mm muutamien reikäetäisyyksien seurauksena. Liitteenä muutama kuva osista FEM-analyysissä esitettyjen kokoonpanojen lisäksi.

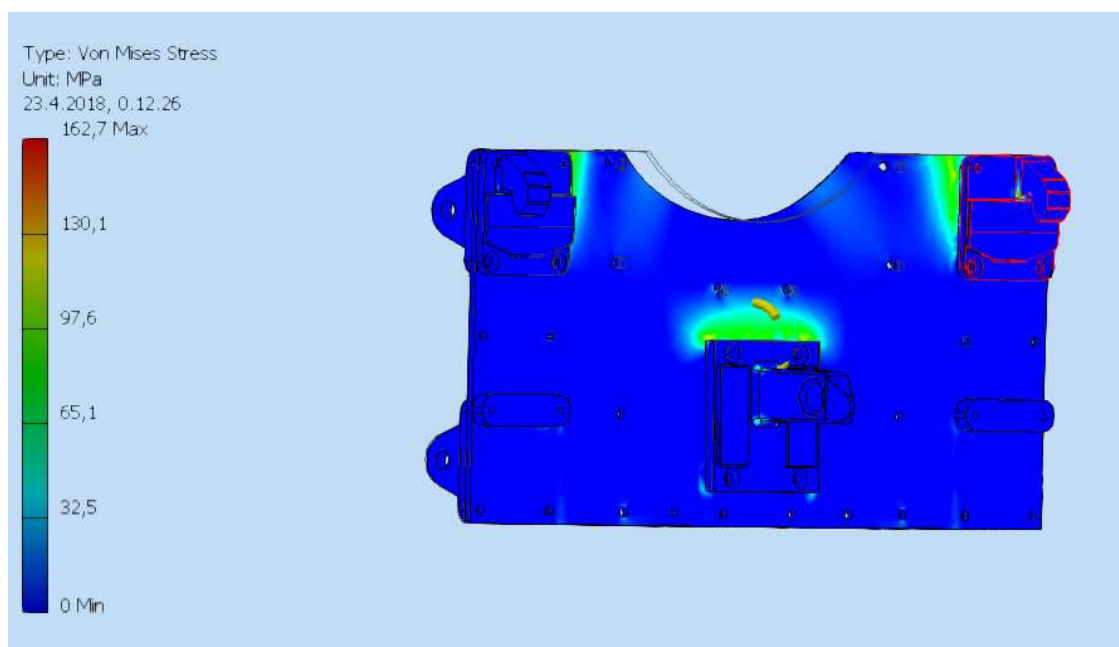
## 8 FEM

Kaikki kiinniketyypit testattiin Finite Element Analysis -analyysillä eli FEM-analyysillä. FEM-analyysit tehtiin Autodesk Inventor 2014 Professionalin stress analysis -työkalulla.



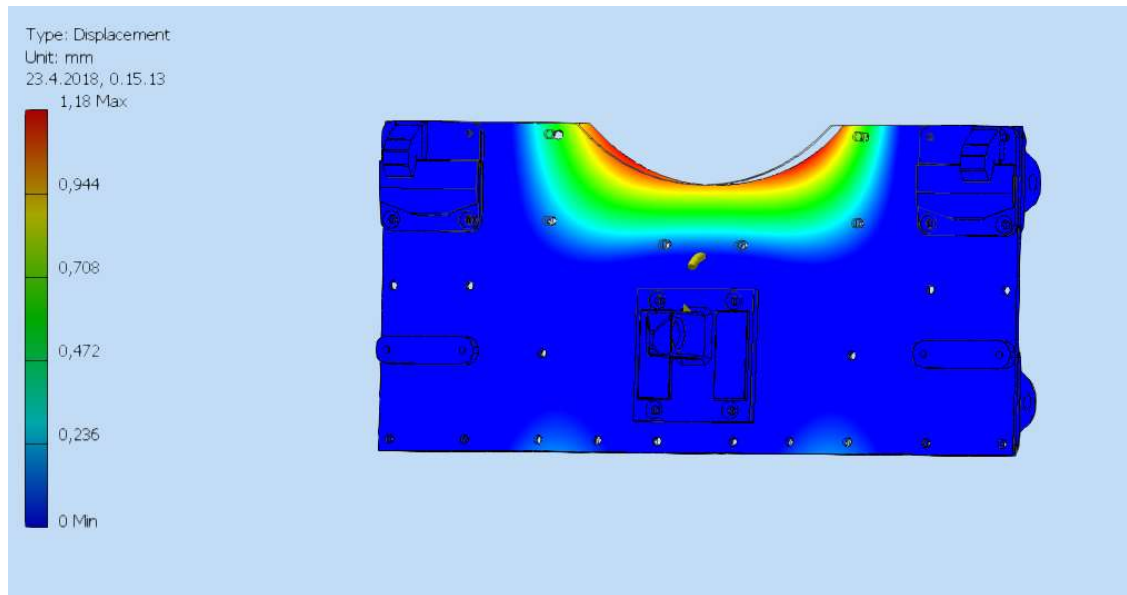
Analyysin tarkoituksena oli tutkia levyjen käyttäytymistä. Levyjen käyttäytymissä kiinnosti Von Mises -jännitystarkastelu sekä siirtymät. Von Misesin jännitys on vauriohypoteesi, jossa materiaalin rikkoutumistavan ajatellaan olevan myötääminen. Rikkoutumisen ajatellaan tapahtuvan, kun kappaleen muoto vääristyy tietyn määrän mitattuna muodonvääristymisenergiatiheydellä. Von Misesin hypoteesin mukaan laskettua vertailujännitystä verrataan kappaleen myötörajaan. Von Misesin hypoteesi on käyttökelpoinen arvioidessa sitkeiden materiaalien kestävyyttä. (Karhunen, J. & al. 1992)

AJO 400- ja AJO 700 -kuormat ovat käyttöasennossa eli levynsuuntaisena kohti oikealla olevaa tien reunaa. Muissa tapauksissa kuormat ovat vääntöä kuvastaen auran kuljetustilannetta auran ollessa ylhäällä. Väännön suuruus on 15 kNm. Tuennat ovat työkonekiinnikkeissä siten, etteivät ne päästäneet työntöporttia liikkeelle. Kaikki työntöportit käytätyivät FEM-analyysissa samankaltaisesti. Voimat ja siirtymät pysyivät siedettävänä.

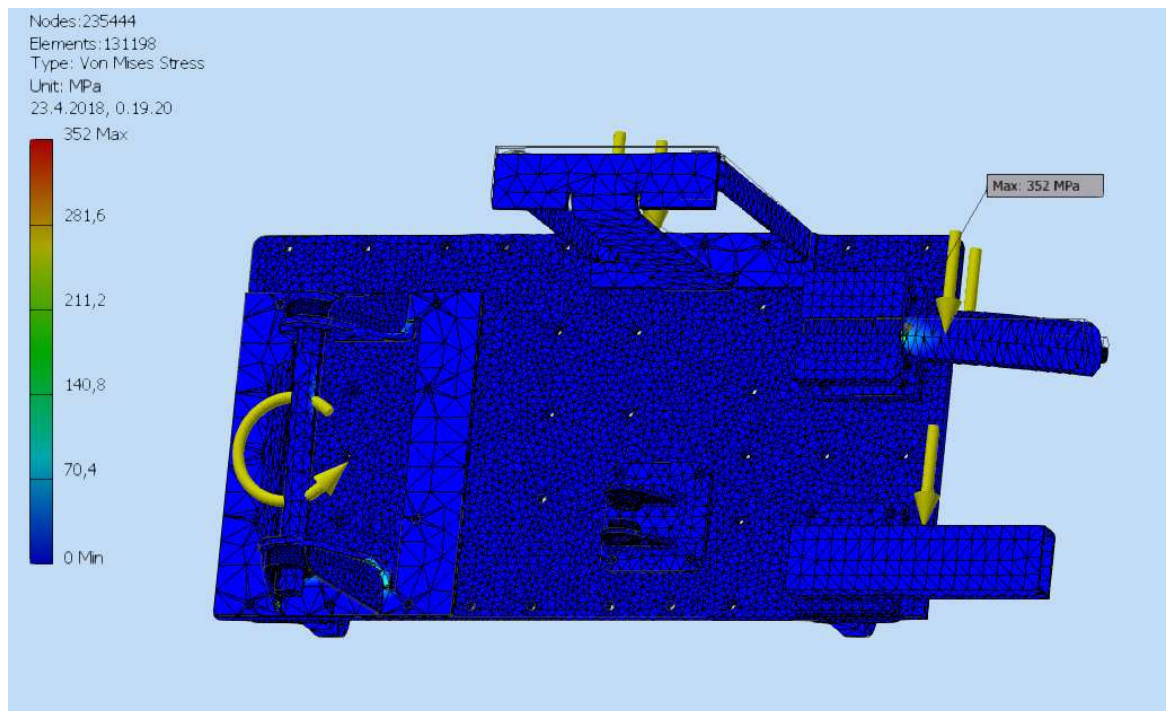


Kuva 7. Von Mises -tarkastelu TL-kiinnikkeiseen työntöporttiin

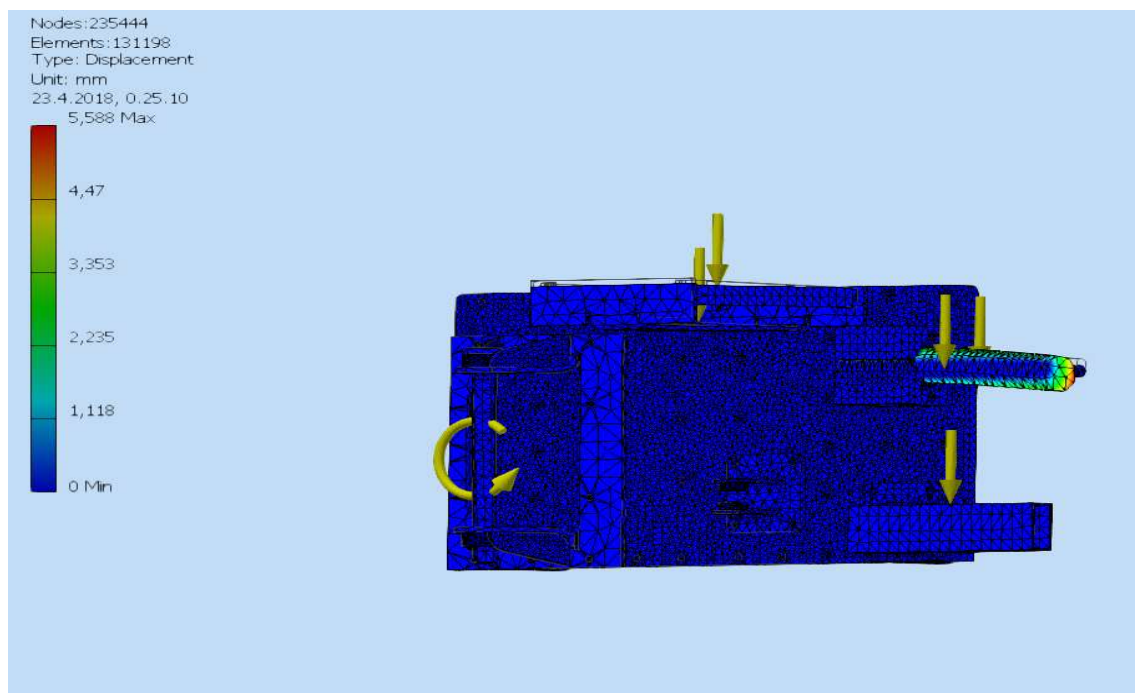
TL-kiinnikkeinen työntöportti on tarkoitettu vain aurakäyttöön. TL-kiinnikkeisen työntöportin kuormittava voima Fem-analyysissa on rajoitettu 12,5 kNm momenttiin. Von Mises -jännitykset (kuva 7) pysyvät maltillisina samoin siirtymät (kuva 8).



Kuva 8. TL -työntöportin siirtymät

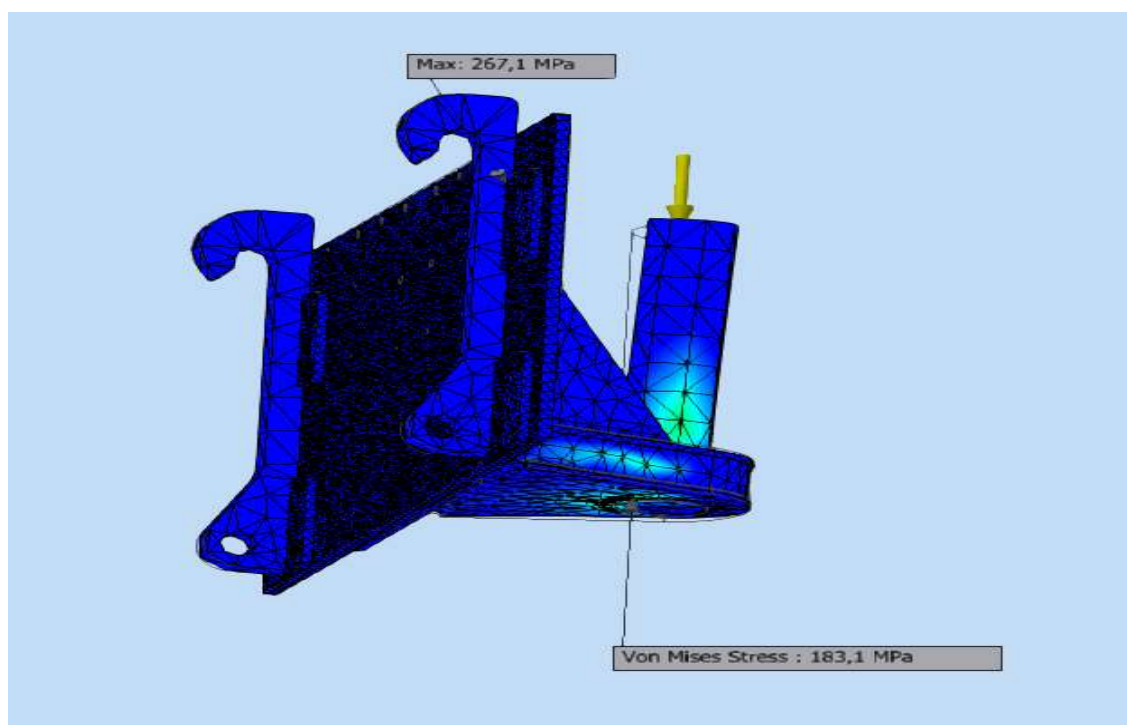


Kuva 9. AJO 400 Von Mises -jännitykset

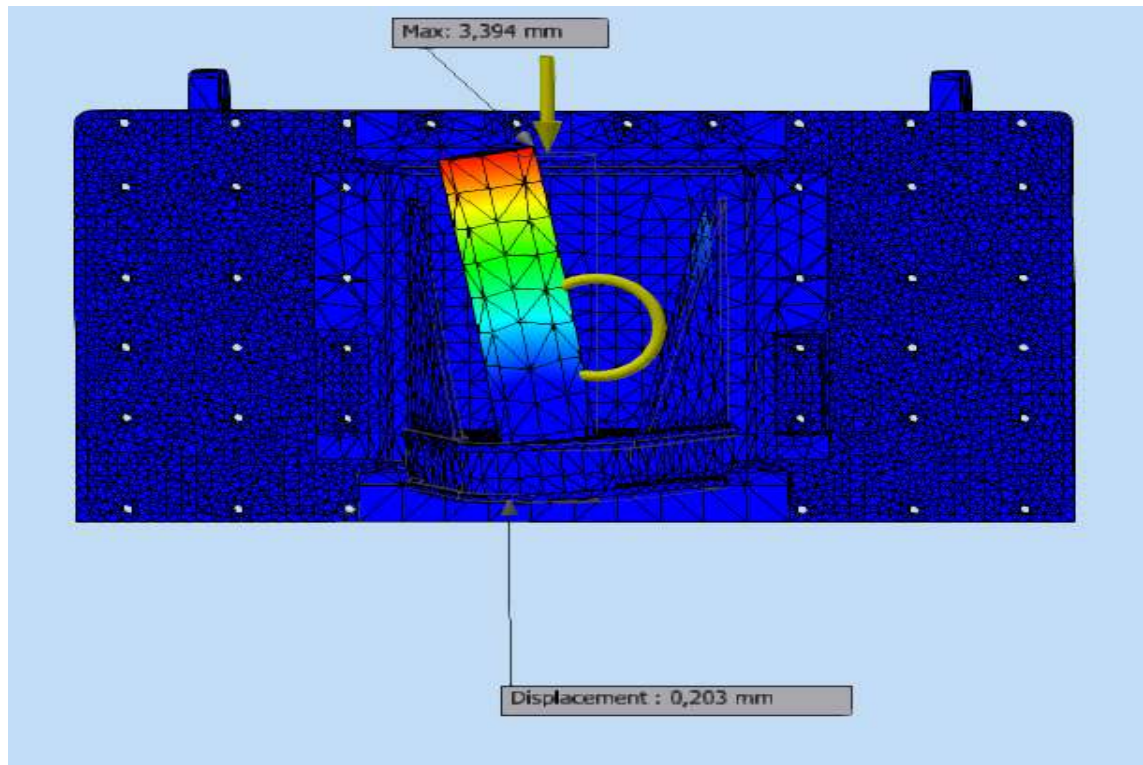


Kuva 10. AJO 400 -työntöportin siirtymiä

AJO 400 -työntöportin Von Mises -jännitys 352 Mpa muodostuu 8.8 kierretankoon (kuva 8), jollaista on käytetty lisäpainotelineen ylätukena, kierretanko kestää jännityksen. Kierretangon siirtymä (kuva 10) vaikuttaa suurelta, osan lisäpainojen kuormasta ottaa kuitenkin vastaan kierretankojen alapuolella oleva RHS-putki. Todellinen tilanne ei ole noin paha kuin FEM antaa ymmärtää.



Kuva 11. AJO 700 Von Mises -analyysi

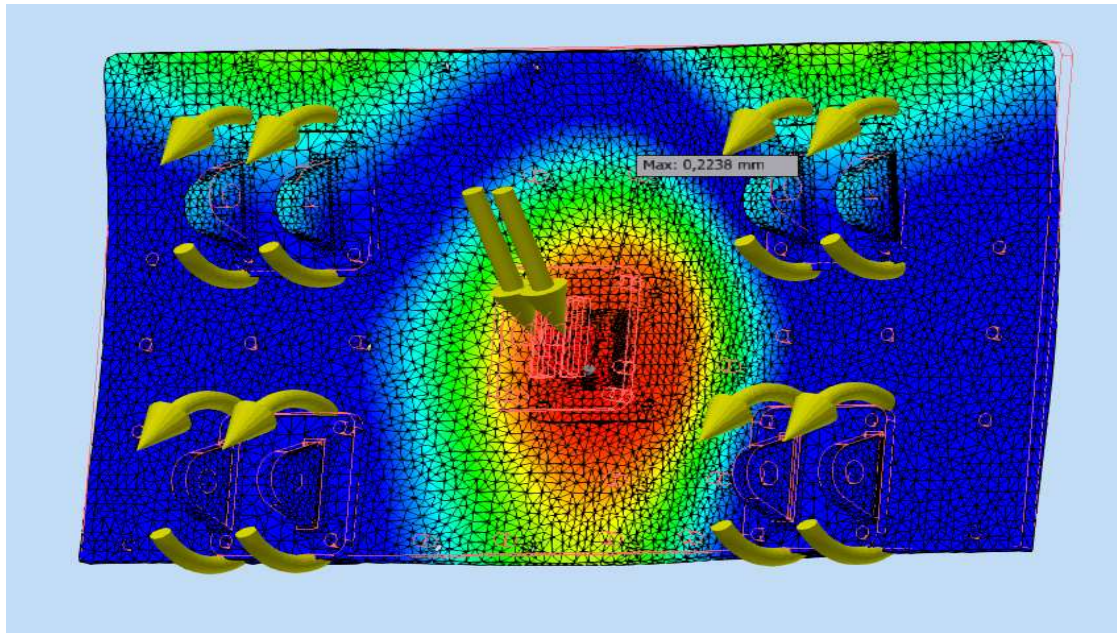


Kuva 12. AJO 700 siirtymät

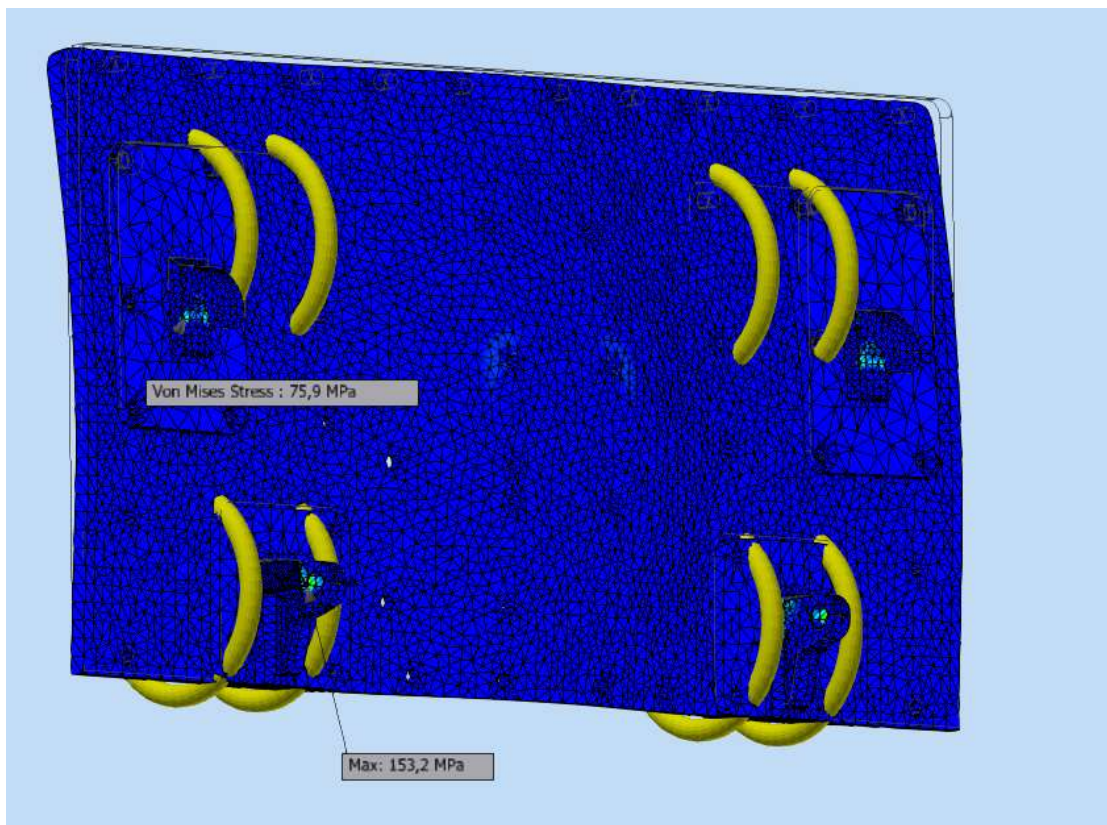
AJO 700 maksimi Von Mises -jännitys muodostuu Volvo BM -kiinnikkeen ja kiinnityslevyn väliin (kuva 11). Toinen selkeä jännityskeskittymä muodostuu pystyakselin ja sitä ympäröivään kotelorakenteeseen jääden alle 200 Mpa jännityksen. Pystyakselin siirtymät ylhäällä 3,4 mm (kuva 12).

Viimeinen neljän pisteen kiinnikkeellä oleva esimerkki on Euro-kiinnikkeellä oleva työntöportti. Siirtymät rakenteessa kymmenesosamillejä (kuva 13). Suurimmat jännitykset muodostuvat alakiinnikkeen reikään (kuva 14).





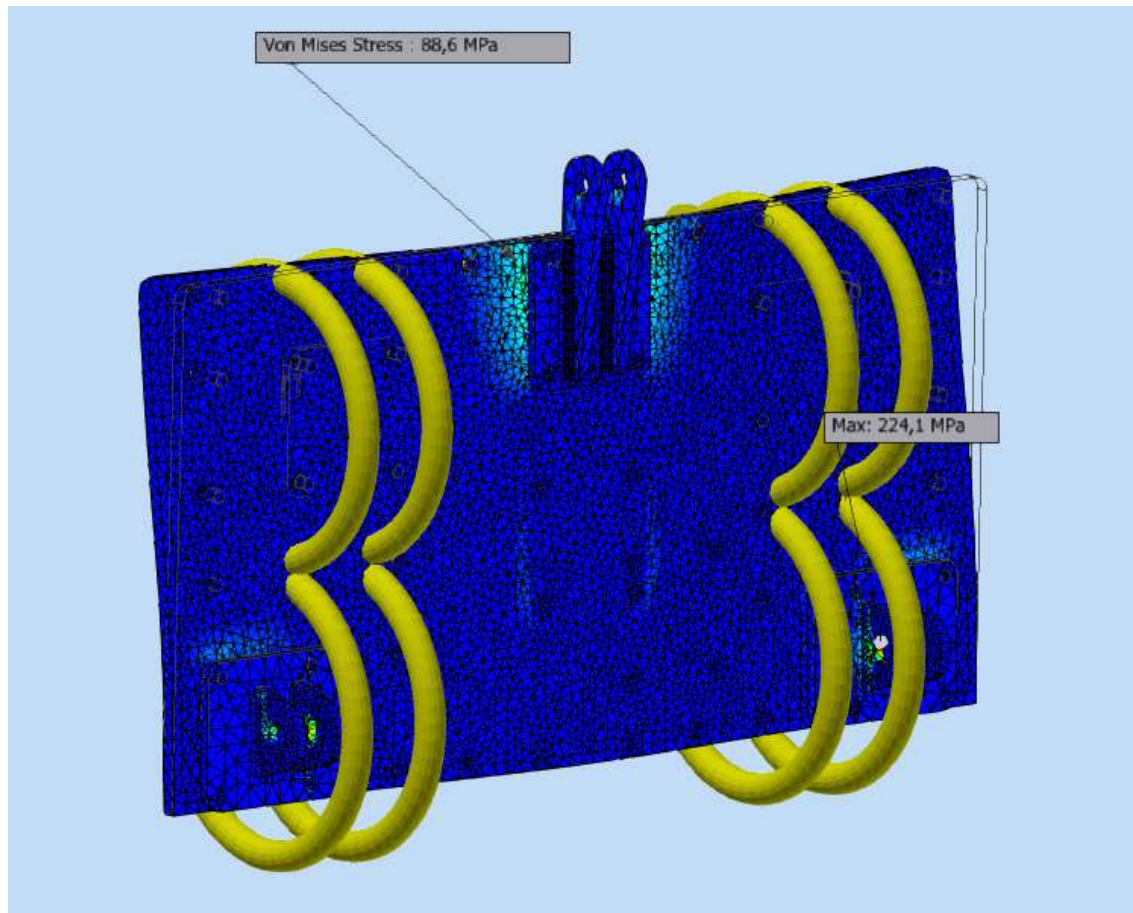
Kuva 13. Euro-kiinnikkeisen työntöportin siirtymät



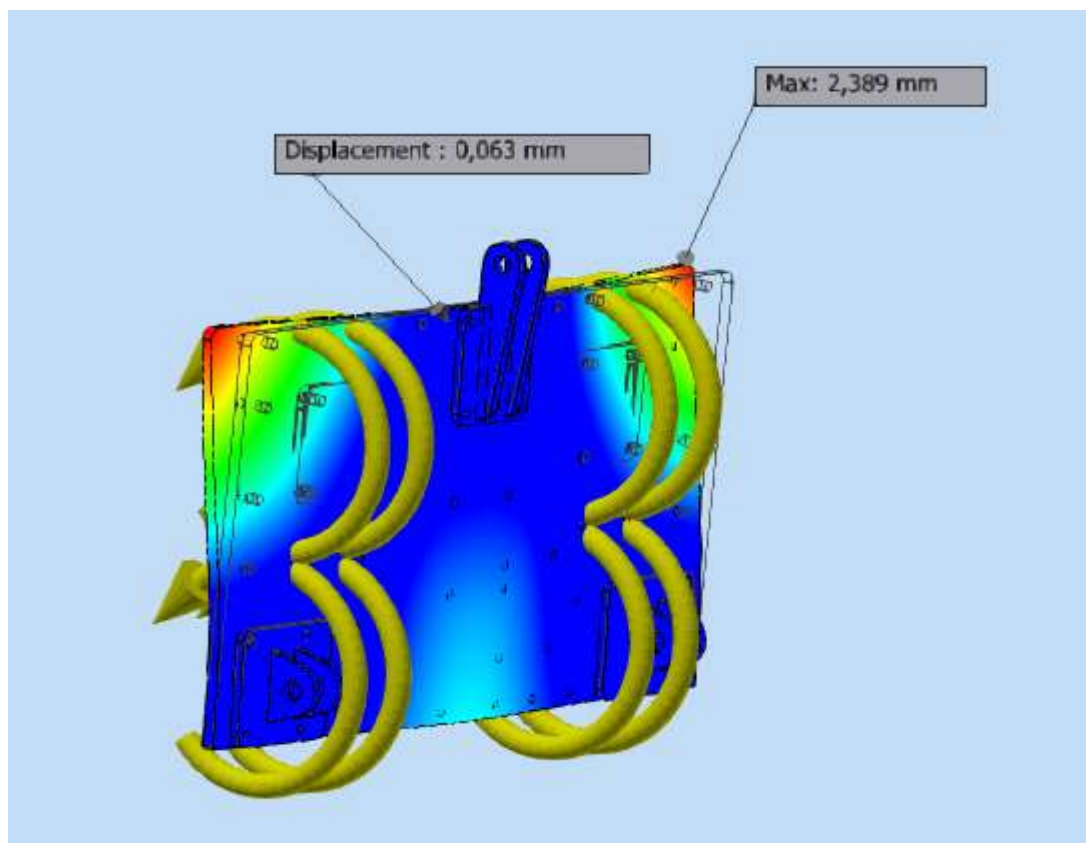
Kuva 14. Euro-kiinnikkeisen työntöportin Von Mises -jännitykset

Viimeisenä 3-pistekiinnikkeellä oleva työntöportti kategoriassa kolme. Tässä kaikki tuennat tappituentoja jotka mahdollistavat työntöportin kiinnikkeiden rotaatiota tapin akselin ympärillä. Suurimmat jännityksen alempien kiinnikkeiden tapin reiässä (kuva 15).

Kategoria 3 kolmipistekiinnikkeissä tapahtuu siirtymiä auran aiheuttamasta väännöstä johtuen (kuva 16). Nostovarsien ollessa kiinnitettyinä auran runkoon siirtymät ovat luultavasti hiukan pienempiä.



Kuva 15. Kategorian 3 kolmipistekiinnikkeen Von Mises -jännitykset



Kuva 16. Kategoria 3 kolmipistekiinnikkeisen työntöportin siirtymät.

## 9 Pohdinta

Projektin saldona muodostui noin 90 kokoonpanopiirustusta, 55 kokoonpanoa, 70 osaa sekä noin 40 polttoleikkaustiedostoa. Opinnäytetyö tarjoaa ratkaisuja alkuperäiseen ongelmaan ja mahdollistaa myös uusien moduulien suunnittelun jo suunniteltujen lisäksi. Työntöporttien Von Mises -jännitykset jäivät selkeistä alle kappaleen myötäämisen aiheuttavien jännitysten. Tuotteista on hyvä valmistaa prototyypit, jotta mahdolliset piilevät ongelmat kokoonpanossa tulevat ilmi. Mahdollisten ongelmien ilmaannuttua tulee osat, kokoonpanot ja piirustukset päivittää tarvittaville muutoksille. Pienenä yllätyksenä tuli kuinka monia muuttujia modulaarisessa rakenteessa on. Ensimmäiset osat näyttivät hyviltä ja seuraavien moduulien sijoittelu muuttaa taas kaiken. Standardien lukeminen avasi paljon opintojen aikana käytyjä asioita, jotka käsiteltiin tunneilla osittain ilman perusteita. Looginen jatko tälle työlle olisi hitsausjigien suunnittelu sekä AJO 700 -puomin alaosan uudelleen suunnittelu AJO 400 -puomin kaltaiseksi. Ylhäältä ja alhaalta tapahtuva tuenta helpottaisi kuormia ruuveissa ja pystyakselissa ja olisi valmistusteknisesti vähemmän hitsattava. Työn edetessä joutui opettelemaan kokonaan uuden 3d-



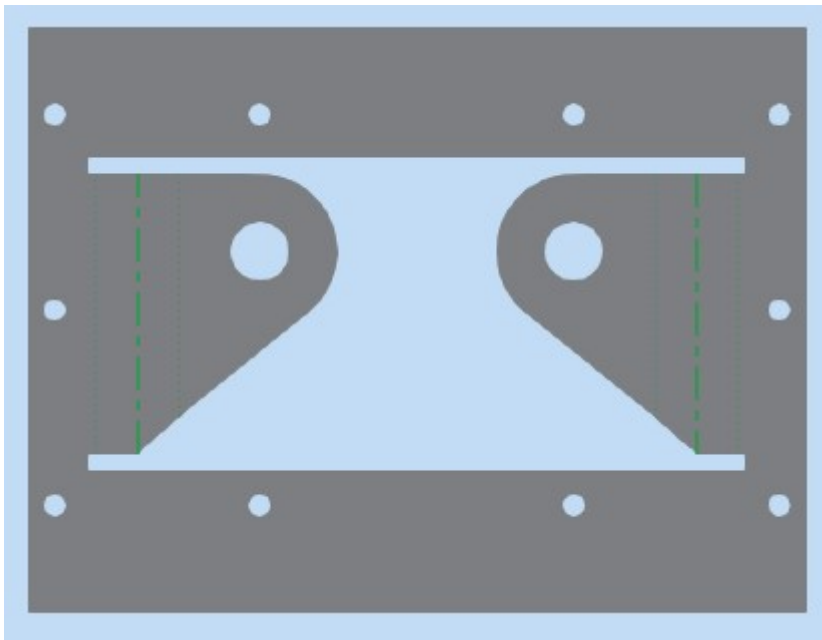
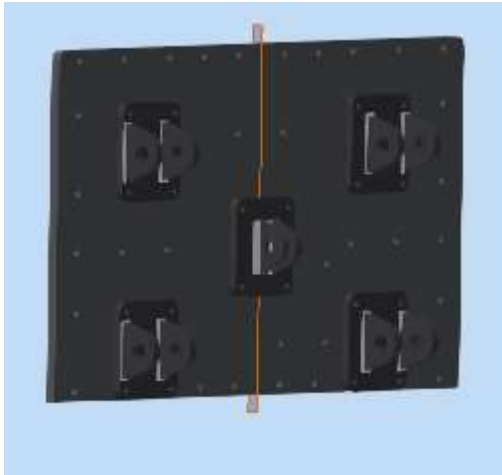
suunnitteluohjelmisto Autodesk Inventor 2014 professionalin. Inventor 2014 professionalin peruskäyttö oli hyvinkin samankaltaista kuin Creo parametric 2.0, jonka käyttöä koululla tuli opiskeltua. Inventorin FEM eli Stress analysis oli helposti opittava, joskin hieman Creon vastaavaa suppeampi. Useampien 3d-suunnitteluohjelmien osaaminen on tulevaisuuden kannalta vain etu.

## Lähteet

- Karhunen, J. Lassila, V. Pyy, S. Ranta, A. Räsänen, S. Saikkonen, M. Suosara, E. 1993. Lujuusoppi. Helsinki: Otatieto. Oy Yliopistokustannus University Press Finland Ltd.
- Pahl, G. Wolfgang, B. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus
- Piironen, T. 2013. Teräsrakenteiden suunnittelupas parempaan valmistettavuuteen. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu julkaisutoiminta
- Ratemex Oy yritysesittely. 2017. <http://www.ratemex.fi/yritysinfo> . Viitattu 21.5.2018
- SFS-EN 1090-2+A1. 2012. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. osa 2: teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS
- SFS-EN 1993-1-8. 2006. Eurokoodi 3: teräsrakenteiden suunnittelu. osa 1-8: Liitosten suunnittelu. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS
- SFS-EN ISO 9013:2017. Terminen leikkaus. Termisesti leikattujen pintojen luokittelu. Geometrinen tuotemääritys ja laatutoleranssit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS
- Valtanen, E. 2013. Tekniikan taulukkokirja. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy

## Liite 1

Nostokorvakot ja polttoleikattu aihio ennen särmäystä. Polttoleikkaus ilman reikiä.



VI-kiinnike sekä nostokorvakko

